



SAVONIA <



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
KULTTUURIALA

VALUPROSESSIN KEHITTÄMINEN FORM 2 TULOSTUSHARTSILLE

TEKIJÄ: Severi Tanskanen
KUI13SM

Koulutusala Kulttuuriala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Muotoilun koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Severi Tanskanen			
Työn nimi Valuprosessin kehittäminen Form 2- tulostushartsille			
Päiväys	21.5.2018	Sivumäärä/Liitteet	26/2
Ohjaaja(t) Risto Nylund			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Aiheena opinnäytetyölle toimii valuprosessin kehittäminen. Työssä pyritään integroimaan Savonia-ammattikorkeakoulun hankkima Form 2- 3D- tulostin osaksi korumuotoilijaopiskelijoiden valuprosessiin tutkimalla mm. tulostimen valmistajan verkkosivuja ja suorittamalla koepolttoja ja -valuja. Työ on kohdennettu korualan opiskelijoille ja tuntijoille.</p> <p>Opinnäytetyön päämäärä on löytää koulun polttouunille Form 2 Castable- hartsille sopiva poltto-ohjelma ja sekoitusohjeet Plasticast- kipsille ja tuoda ne opiskelijoiden käyttöön. Tavoitteena on myös kehittää tekijän taitotasoa aihepiirin alueilla.</p> <p>Opinnäytetyö koostuu teoriaosasta ja kokeiluvaiheesta. Teoriaosuudessa tutustutaan Form 2- 3D-tulostimen ja sen Preform- ohjelman toimintaperiaatteisiin ja tulostamisprosessin vaiheisiin. Lisäksi perehdytään kahden eri poltto-ohjelman eroihin.</p> <p>Kokeiluvaiheessa tutkitaan kolmella koepoltolla ja kolmella koevalulla Formlabsin Castable- hartsille laatimansa poltto-ohjelman sopivuutta Plasticast- ja Satincast- kipseillä Savonian polttouunilla. Tuloksien pohjalta on liitteisiin valmistettu ohjeet opiskelijoiden käyttöön.</p>			
<p>Avainsanat</p> <p>Formlabs, Form 2, valuprosessi, PreForm</p>			

Field of Study Culture			
Degree Programme Degree Programme in Design			
Author(s) Severi Tanskanen			
Title of Thesis Development of casting process for Form 2- printing resin			
Date	21.5.2018	Pages/Appendices	26/2
Supervisor(s) Risto Nylund			
Client Organisation /Partners			
<p>Abstract</p> <p>The subject for this thesis is the development of casting process. It aims to integrate the Form 2- 3D- printer recently bought by Savonia University of Applied Science into jewellery designer students' casting processes by studying e.g. the printer manufacturer's websites and by performing test burnouts and casts. The students and experts of the jewellery industry are the targeted audience of this thesis.</p> <p>The objective of the thesis is to find suitable burnout program for Savonia's kiln and the right mixing ratio for Plasticast- investment and bring them for the use of the students. Secondary aim is to improve the author's expertise on the field.</p> <p>The thesis consists of a theory section and a test section. In the theory section the Form 2- 3D-printer and its PreForm- program's policies and steps in 3D- printing process are explained. In addition, the differences in the two burnout programs are studied.</p> <p>In the test section the burnout program made for Castable- resin by Formlabs is tested on Plasticast- and Satincast- investments on three test burnouts and three test casts in Savonia's kiln. Based on results, a user guide was made for the students. The guide can be found in the appendices.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Formlabs, Form 2, casting process, PreForm</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	TIETOPERUSTA.....	8
2.1	Termistö	8
2.2	Form 2- 3D- tulostin.....	9
2.3	PreForm- ohjelman toiminnot.....	10
2.4	Koulun ja Formlabsin poltto-ohjelmat.....	12
3	KOEPOLTTOJEN JA KOEVALUJEN ETENEMINEN	14
3.1	Ensimmäinen koepoltto	14
3.2	Toinen koepoltto.....	14
3.3	Kolmas koepoltto	15
3.4	Ensimmäinen koevalu.....	16
3.5	Toinen koevalu	17
3.6	Kolmas koevalu.....	18
4	POHDINTA.....	20
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	21
	KUVALÄHDELUETTELO.....	23
	LIITTEET	25
4.1	LIITE 1: Plasticast- Kipsin valmistusohje:	25
4.2	LIITE 2: 13 tuntisen poltto-ohjelman ohjelmoiminen	26

Savonia-ammattikoulu hankki syksyllä 2017 Formlabs Form 2- 3D-tulostimen, jolla on mahdollista tulostaa suoraan valettavia kappaleita. Tulosteet ovat paremman laatuista ja yksityiskohdiltaan tarkempia kuin jyrsinnällä tai koulun muilla tulostimilla tuotetut kappaleet. Aikaisemmin on täytynyt valaa ”master”- versio kappaleesta, jossa säilytetään valukanavat. Masterista on sitten valmistettu kuminen muotti, jonka avulla saadaan valmistettua valettavia vahakopioita. Tulostin voi syrjäyttää tämän vaiheen, sillä se voi tulostaa useita kopioita yhdellä kertaa.

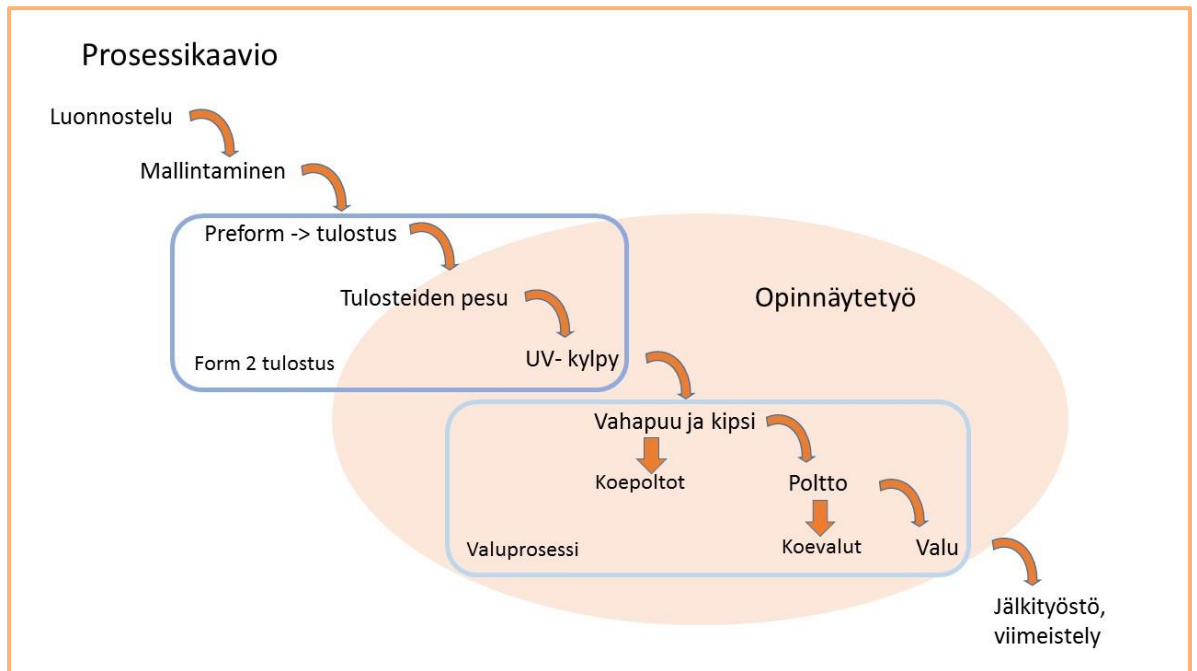


Tulostettuja korumalleja on yritetty valaa hopeaan, mutta valut ovat epäonnistuneet (Kuva 1). Mahdollisia ongelmakohtia on kaksi: Valuprosessin polttovaiheesta on kipsin sisään voinut jäädä

Kuva 1 Epäonnistunut hopeavalu.

Kappaleen sileäksi tarkoitetusta pinnasta on tullut röpelöinen. (Tanskanen 2018)

palamisjäänteitä, jotka aiheuttavat virheitä valettujen kappaleiden muodoissa, tai koulun valuprosessissa käyttämä kipsi ei ole yhteensopiva tulostuksessa käytetyn Form 2 Castable-hartsin kanssa. Tästä syystä on tarpeen ottaa selvää, miksi kyseisistä tulosteista tehdyt valut epäonnistuvat ja löytää tutkimalla ja kokeilemalla oikeat poltto-ohjelma ja kipsi, jotta uusi tulostin saataisiin intergroitua koulun korumuotoilun käyttöön. Kokeilut suoritettiin tekemällä kolme koepolttoa ja kolme koevalua. Kokeiluissa käytetyt kipsit ovat koulun käyttämä Kerrin valmistama Satincast- kipsi ja Formlabsin suosittama Ransom & Randolphin Plasticast- kipsi (Formlabs A 2018-5-11, 3).



Kaava 1 Prosessin eteneminen ja opinnäytetyöni kattama osa siitä. (Tanskanen 2018)

Yllä olevassa kaaviossa (Kuvio 1) on kuvattuna korun tulostamisen ja valamisen vaiheet. Työni keskittyy suurelta osin itse valuprosessiin, koska mahdolliset ongelmakohdat sijaitsevat siellä. Käsittelen myös jonkin verran Form 2- tulostimen osuutta: miten se toimii ja millainen on sen prosessi. En kuitenkaan perehdy syvällisesti itse 3D- tulostamiseen, sen historiaan ja eri tekniikoihin.

Aihe on lehtori Risto Nylundin ehdottama ja otin sen tehdäkseni, sillä aihe kiinnostaa minua uravalintani kannalta. Työskentelen Saurum Oy:llä ja siellä uskon kokemuksen 3D- tulostuksen ja valuprosessin saroilla olevan edukseni. Saurum on jalometalliteollisuuden yritys, joka valmistaa ja jälleenmyy jalometalli- ja kevytmetalliteollisuuden tuotteita (Kauppalehti 2018-5-11). Työni siellä on pääasiassa alkutyöosastolla, jossa valmistan tuotteita ja niiden aihioita levy materiaalista. Tarpeen tullen siirryn muihin tuotantolinjan osiin, esimerkiksi valuosastolle.

Puhun opinnäytetyössäni 3D-tulostamisesta, mutta Sanna Hindsbergin opinnäytetyön (2016, 5) mukaan virallisemmin sitä kutsutaan *Materiaalia lisääväksi Valmistamiseksi*. Sanna Hindsberg kirjoitti 2016 opinnäytetyönsä *Kolmas ulottuvuus* aiheesta ”materiaalia lisäävän valmistuksen mahdollisuudet designpainotteisessa koru- ja jalometalliteollisuudessa.” Hänen päämääränsä oli ”ymmärtää teknologian toimintaperiaatteet ja sillä tuotettujen kappaleiden ominaisuudet tasolla, jonka pohjalta on prosessin jälkeen mahdollista tehdä perusteltuja päätöksiä tekniikan mahdollista hyödyntämistä koskien.”

3D- tulostus on yleistynyt markkinoilla (Haapaniemi, Ketola ja Naskali 2015, 3D-tulostuksen mestarit ja kisallit) ja siksi se voi tulevaisuudessa osoittautua hyödylliseksi taidoksi. Sanna Hindsberg (2016) opinnäytetyössään Lipsonia ja Kurmania (2013) ja Gibsonia ym. (2015) lainaten kertoo 3D-tulostuksen ”mahdollistavan monien sellaisten muotojen valmistamisen, jotka on aikaisemmin pitänyt koota useasta erillisestä osasta tai ovat olleet jopa kokonaan poissuljettuja. Tällaisiin lukeutuvat esimerkiksi kappaleet, jotka sisältävät negatiivisia pintoja, toisiinsa lukkiutuva ja lomittaisia osia, sisäisiä keventäviä rakenteita tai monimutkaisia orgaanisia pintoja.” 3D- tulostaminen on siis nerokas lisä korumuotoilijan työkaluihin.

Opinnäytetyöni tavoite on erilaisten tiedonlähteitä tutkimalla ja sitten koepolttoja ja koevaluja suorittamalla löytää toimivat asetukset koulun polttouunin poltto-ohjelmalle Form 2 Castable- hartsia varten ja ohjeet niille yhteensopivalle kipsille. Kokeilujen ja lähdemateriaalin pohjalta laadin opiskelijoiden käyttöön ohjeet uuden kipsin valmistukselle ja poltto-ohjelman ohjelmoimiselle. Toissijaiset henkilökohtaiset tavoitteeni työlle ovat kehittää taitojani valuprosessin saralla ja ymmärrystäni Form 2- tulostimen toimintaperiaatteista.

2 TIETOPERUSTA

Tässä osiossa kerron opinnäytetyön olennaiset termit, Form2- tulostimella työskentelyn toimintaperiaatteet ja työvaiheet sekä käsittelyn poltto-ohjelmia. Opinnäytetyöni on kohdennettu Savonian koru- ja jalometallimuotoilun opiskelijoille, enkä siksi syvenny itse valutekniikan prosessiin, sillä uskon alan opiskelijoiden tuntevan tekniikan perusteet.

2.1 Termistö

Poltto-ohjelma: Polttouuniin ohjelmoitu prosessi, jonka tarkoitus on vaiheittain polttaa valettavien muottien sisältä vahapuu pois jättäen myöhemmin valettavan onkalon kipsiin.

Rhino: Rhinoceros 3D-mallinnusohjelma, jota käytän tulosteiden mallintamiseen.

Stereolitografia(SLA): Materiaalia lisäävän tulostamisen muoto, jossa ”Pieneen pisteeseen fokusoitu ultraviolettilaser piirtää valokovettuvan hartsin pintaa. Niissä pisteissä joiden yli laser liikkuu, muuttuu nestemäinen hartsi kiinteäksi. Tämä toistetaan useina ohuina kaksiulotteisina kerroksina, jotka yhdessä muodostavat kolmiulotteisia osia (Protolabs 2018-4-6, Stereolitografia).”

Plasticast: Ransom & Randolph- nimisen valamiseen liittyvien tarvikkeiden valmistukseen erikoistuneen yrityksen kipsin tuotemerkki. (Ransom & Randolph 2018-5-11)

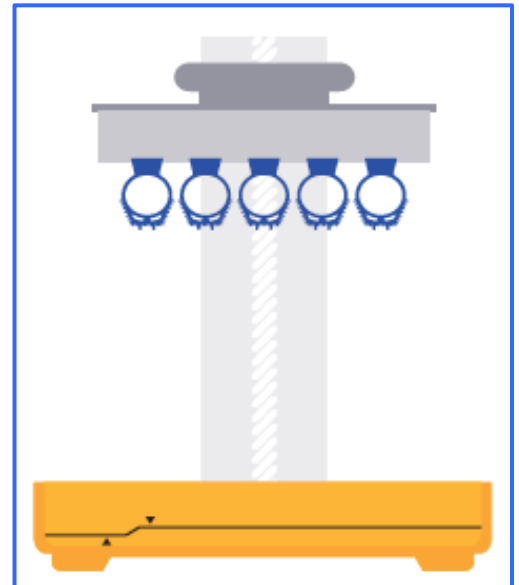
Satincast: Koulun käytössä oleva kipsimerkki. Tuotteen koko nimi on Satincast 20, ja sitä valmistaa nykyisin Allied Mineral Products. (Allied Mineral Products 2017-12-7)

Form 2 Castable: Formlabsin valettavaksi suunniteltu valokovettuva hartsi. (Formlabs B 2018-5-11)

PreForm: Formlabsin tietokoneohjelma, jolla määritetään tulostukseen lähetettävän kappaleen tukipilarit, lukumäärä ja asento. (Formlabs C 2018-5-11)

2.2 Form 2- 3D- tulostin

Käyttämäni tulostin on 3D-tulostukseen erikoistuneen Formlabs- yrityksen valmistama Form 2- 3D- tulostin. Laite kovettaa laserilla valokovettuvasta hartsista kerroksia hartsialtaaseen lasketun alustan pinnalle. Kerrokset voivat olla ohuimmillaan 0,025 mm paksuisia. Tulostusaika riippuu suurilta osin tulostettavien kerrosten lukumäärästä, eli kappaleiden lukumäärän lisääminen lisää tulostusaikaa suhteellisen marginaalisesti. Kappaleet tulostuvat ylösalaisin, joka on syytä tiedostaa mallinnoksien tulostukseen valmistelun aikana (kuva 2) (Formlabs D 2018-4-15.). Tulostimella on mahdollista tulostaa kuuden perushartsin lisäksi erityisesti hammashoitoon, tekniikan alalle ja koruvalmistukseen soveltuvia hartseja (Formlabs E 2018-5-11). Niistä käytän valamiseen suunniteltua Form 2 Castable- nimistä sinistä hartsia. Poltettaessa se muuttuu sulamisen sijaan suoraan höyryksi (Formlabs A 2018-5-11, 4).



Kuva 2 Visualisointi tulosteiden asennosta tulostimessa. (Formlabs 2018)

Tulostamisprosessi aloitetaan luomalla mallinnetusta kappaleesta STL-formaatin tiedosto. Rhinoceros 3D- ohjelmassa kyseinen toiminto on suoritettava "export selected..."- työkalun avulla sen sijaan, että käyttäisi "save as"-toimintoa, koska tiedosto ei muuten toimi kunnolla Preformissa (Risto Nylund, 2018-3-15.) STL-tiedosto avataan tulostimen PreForm-ohjelmalla, jossa kappaleelle luodaan tukirakenteet, määritetään laseroitavien kerrosten paksuus ja kappaleiden lukumäärä ja asento. PreFormista kappaleet lähetetään itse tulostimeen, jonka näytöltä käynnistetään tulostus.

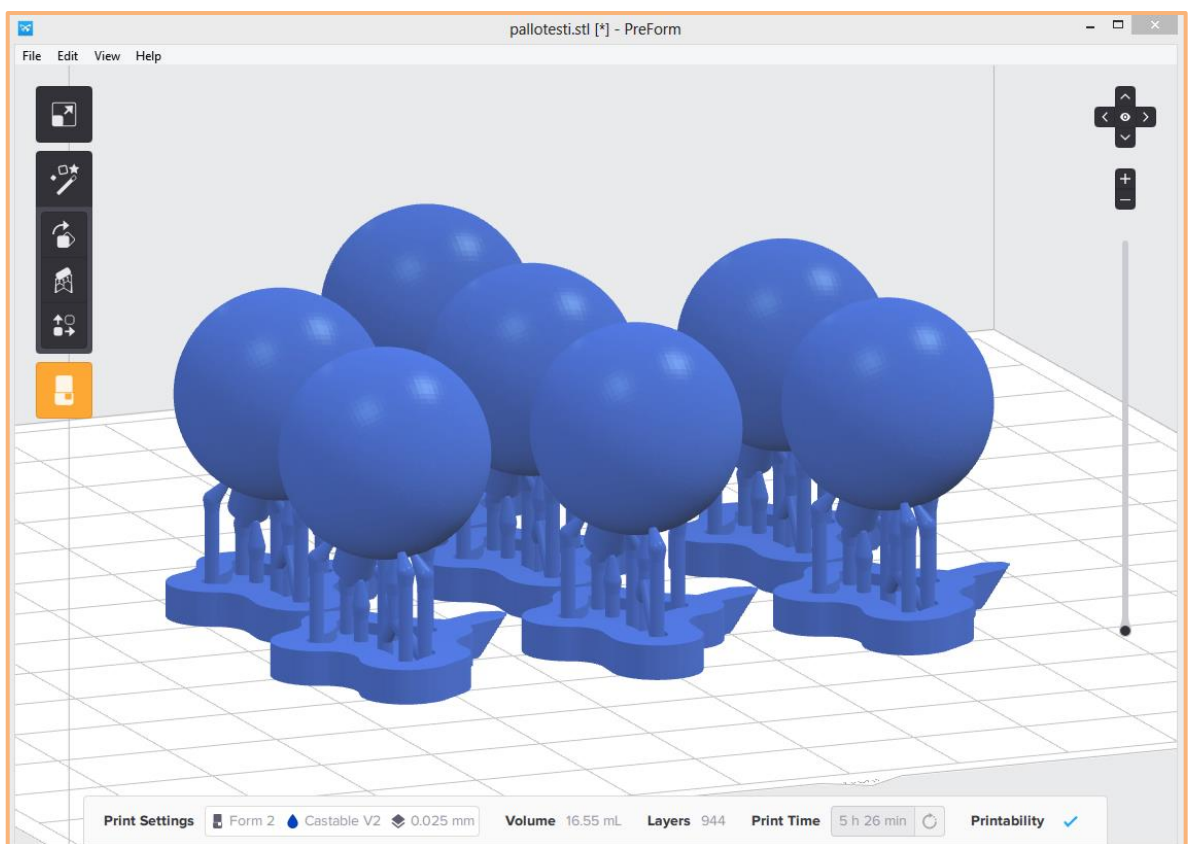
Tulostumisen jälkeen kappaleiden pinnoille jää nestemäistä hartsia tulostuksen jäljiltä. Ne on pestävä isopropyylialkoholissa (IPA) ensin huuhtomalla puoli minuuttia ensimmäisessä astiassa ja sitten liottamalla kymmenen minuuttia toisessa astiassa. Kappaleiden pesuun voi käyttää myös automaattista Form Wash- nimistä Formlabsin laitetta, jolla pesun kesto on keskimäärin n. 15 minuuttia. (Formlabs F 2018-5-3.)

Lopuksi tulosteille annetaan UV-kylpy, johon käytetään Formlabsin laitetta nimeltä Form Cure. Kylvyssä kappaleisiin kohdistetaan sopivassa lämpötilassa ultraviolettivaloa, joka vahvistaa rakennetta ja tekee siitä vakaamman (Formlabs G 2018-5-3,). Castable- hartseille on olemassa kaksi suositusta UV-kylvyllä. Toisen mukaan optimaaliset asetukset olisivat 120 minuuttia 45 celsiusasteessa (Formlabs H 2018-5-3, 11) ja toinen puolestaan

suosittelee 240 minuutin kovetusta 60 asteessa. (Formlabs G, 2018-5-3, Form Cure Time and Temperature Settings) Formlabsin tukihenkilön mukaan (Formlabs I 2018-5-3) vaihtoehtoista jälkimmäinen on parempi vaihtoehto.

2.3 PreForm- ohjelman toiminnot

Form 2- 3D- tulostin käyttää PreForm- nimistä tietokoneohjelmaa mallinnettujen kappaleiden tulostukseen valmistelemista varten. Sen avulla on mahdollista ladata tulostimelle useampia kappaleita tulostumaan samanaikaisesti. Kyseinen ohjelma ei kuitenkaan korvaa mallinnusohjelmaa, vaan virheet kappaleessa on korjattaava mallinnusohjelman puolella. (Formlabs D, 2018-5-6, 4.)



Kuva 3 Preformin käyttöliittymä

Yllä on kuva (kuva 3) Preformin käyttöliittymästä. Sen työkalut ovat ikkunan reunoilla. Huomioitavaa on, että vaikka kappaleet tulostuvat ylösalaisin on ne ohjelmassa esitetty niin, että alusta on alla. Liittymän vasemmassa laidassa sijaitsee ohjelman tärkeimmät työkalut. Selitän niistä järjestyksessä ylhäältä alas. (kuva 4)



Size: Työkalulla voi muuttaa kappaleen kokoa mittasuhteissaan.

One Click Print: Ohjelma laskee itsenäisesti kappaleille asennon ja tukirakenteet, jolloin kappaleet ovat suoraan valmiita tulostettavaksi.

Orientation: Kappaletta voi käännellä X, Y ja Z suunnissa tai valita asento kuudesta vaihtoehdosta. Kappaleita voi käännellä myös suoraan kappaletta klikkaamalla

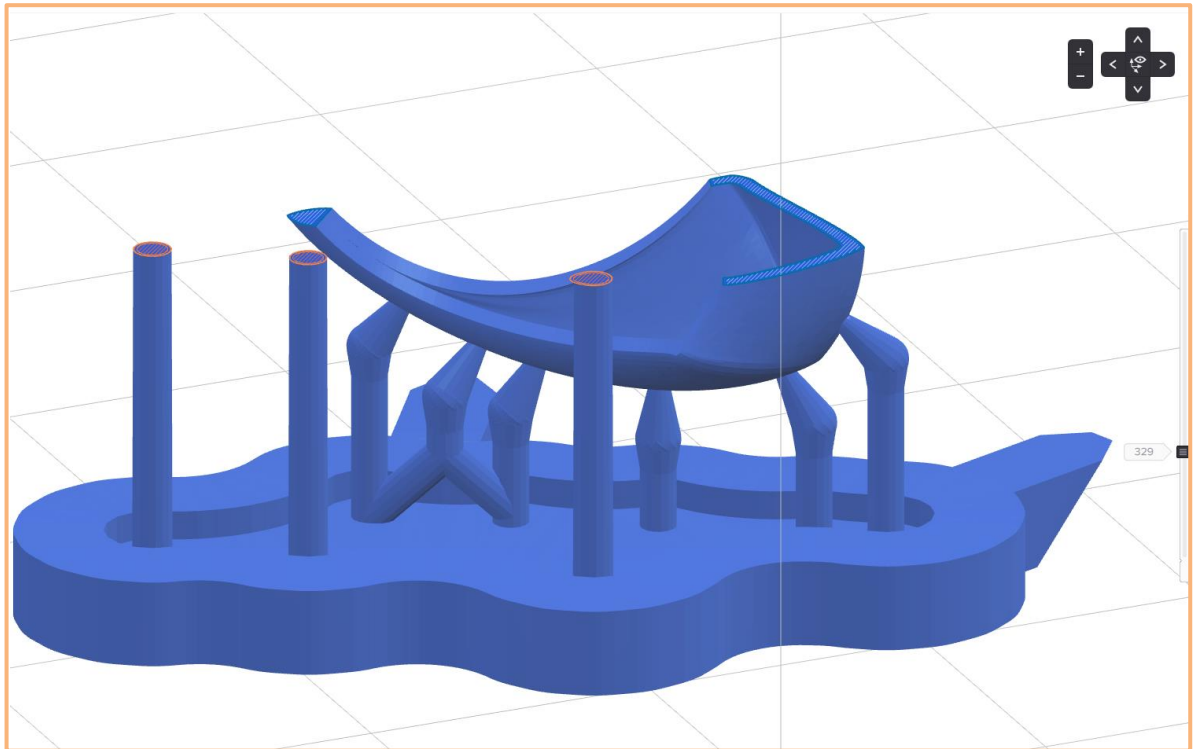
Supports: Tämä on mielestäni tärkein työkalu. Tällä kappaleelle määritetään automaattisesti tai manuaalisesti pohja, tukirakenteiden lukumäärä, paksuus ja niiden kontaktipisteiden paksuudet. Ohkaisemmat pisteet ovat helpompi irroittaa kappaleesta, mutta paksumpien avulla kappale pysyy varmemmin kiinni alustassa koko tulostuksen ajan (Formlabs J 2018-5-6).

Layout: Työkalulla määritetään tulostettavien kappaleiden lukumäärä ja etäisyys toisistaan. etäisyydet voi myös säätää vetämällä kappaleita itse hiirellä.

Start a Print: Tällä työkalulla valmistellut kappaleet lähetetään tulostimeen.

Käyttöliittymän alalaidasta löytyy palkki, josta on mahdollista säätää tulostuksen asetuksia: Minkä mallin tulostimelle lähetetään, mille materiaalille tulostetaan ja miten paksuja kerroksia tulostetaan. Alapalkki myös näyttää tulostettavaan kappaleeseen tukirakenteineen kuluva nestehartsin määrän, kerrosten lukumäärän ja tulostuksen arvioidun keston. Lisäksi alapalkista näkee, onko kokonaisuus tulostettavissa. Sinne myös tulee ilmoitukia, mikäli kappale ei ole tulostettavissa ja ohjeita, mitä ongelmalle ohjelman mielestä kuuluisi tehdä. (Formlabs J 2018-5-6)

Kuva 4 Työkalut ylhäältä alas: Size, One Click Print, Orientation, Supports, Layout ja Start a Print. (Formlabs 2018, PreForm)



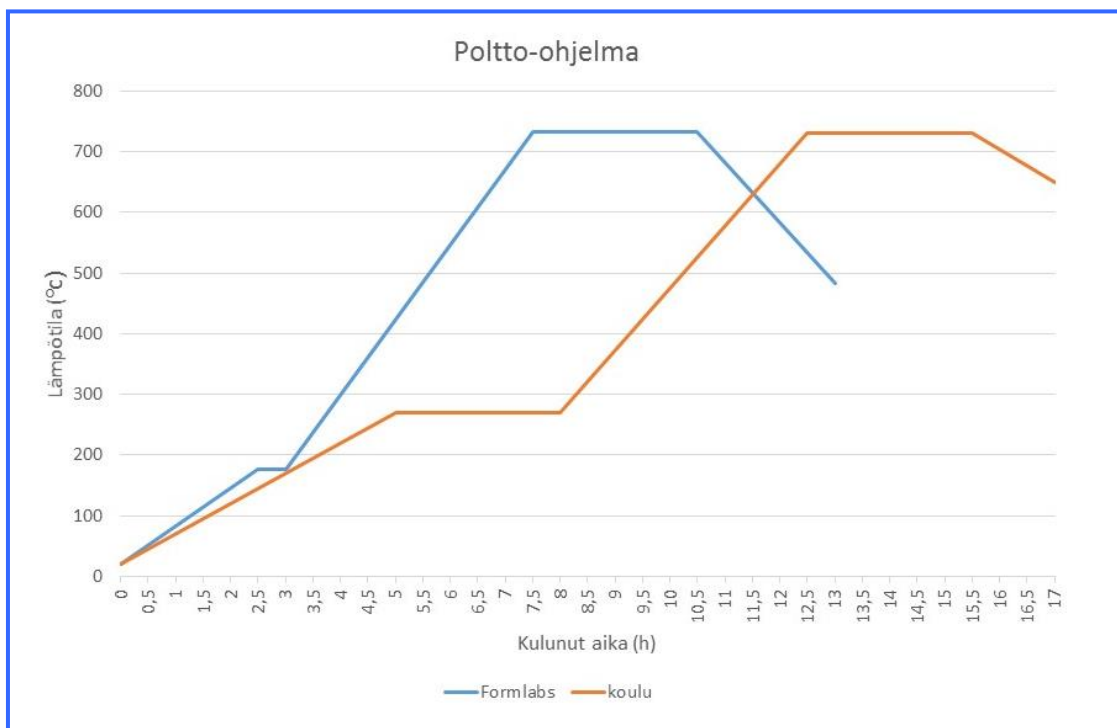
Kuva 5 Kuvakulmapainikkeet ja Slicer- työkalu. Tukipilarien leikkauskohta on erotettu oranssilla värillä.

Käyttöliittymän oikeassa laidassa puolestaan sijaitsee painikkeet kuvakulkien vaihtamiseen ja kuvan suurentamiseen. Kyseiset toiminnot voi kitenkin suorittaa hiiren näppäimillä helpommin. Oikealla sijaitsee vielä Slicer- työkalu (kuva 5), joka näyttää läpileikkauksen halutun kerroksen kohdalta. Slicerin avulla on mahdollista asettaa tukirakenteet kappaleen sisälle. (Formlabs J 2018-5-6.)

2.4 Koulun ja Formlabsin poltto-ohjelmat

Alla (taulukko 1, s.13) on vertailussa sekä koulun käyttämä (Aalto ym. 2018-4-23, 8) että Formlabsin suosittelema (Formlabs A 2018-4-16, 4) poltto-ohjelmat, joita opinnäytetyössäni hyödynnän. Kaavioita vertaillen huomaa, että molemmissa on samanlainen rakenne: Ohjelma alkaa nostaa lämpöä ensimmäiseen lämpötasanteeseen, jonka päätyttyä alkaa voimakkaampi lämmön nousu huippulämpöön. Oltuaan aikansa huipulla ohjelma aloittaa uunin jäähdyttämisen valulle sopivaan lämpötilaan.

Ohjelmien merkittävimmät erot löytyvät ensimmäisestä lämpötasanteesta, loppulämpötilasta ja kokonaiskestosta. Formlabsilla kokonaispituus on 13 tuntia, neljä tuntia lyhyempi kuin koululla. Loppulämpötila on vain 482 celsiusasteessa, hyvinkin matalalla siihen nähden, että muotin tulisi olla valutilanteessa riittävän kuuma, jotta sula hopea ehtisi täyttää kaikki onkalot ennen jäähtymistään. Formlabs onkin kohdentanut poltto-ohjelmansa teollisuustarkoitukseen valmistetun tyhjiövalukoneen käyttäjille. Sen avulla hopea ehtii joka onkaloon kyseisessä lämpötilassa. Koulun ohjelman loppulämpö puolestaan on 650° C, joka korvaa voimakkaan tyhjiön puuttumisen. Ensimmäinen lämpötasanne puolestaan alkaa jo 177 asteessa, mutta kestää vain puoli tuntia. (Aalto ym. 2018-4-18; Formlabs A 2018-4-18, 4)



Taulukko 1 Koulun ja Formlabsin poltto-ohjelmat rinnakkain. (Tanskanen 2018)

3 KOEPOLTTOJEN JA KOEVALUJEN ETENEMINEN

Käytännön tuloksia saadakseni laadin kolme koepolttoa ja kolme koevalua. Polttoihin ja Valuihin käytin sekä Plasticast- että SatinCast- kipsiä. Näin sain vertailutilanteen kipsien välille. Koepolttojen tarkoituksena oli saada selville miltä kipsin sisällöt näyttävät polton jälkeen. Koevaluissa puolestaan otin selville, millaista jälkeä itse valukappaleisiin tulee kyseisillä polttouunin asetuksilla. Tein kolme toistoa tulosten varmistamiseksi.

Kokeilujen muottien valmistamiseen en käyttänyt koepolttoihin tavallisesti käytettyjä teräskehikoita ja kumipohjia, koska ne ovat rei'itettyjä umpinaisia lieriöitä, joista on liki mahdoton saada kipsiä ehjänä ulos. Valmistin siis alumiinista avoimeksi jätetyt kehikot, jotka otetaan irti jo kuivuneesta kipsistä ennen uuniin laittamista. Koevaluihin käytin kuitenkin umpinaisia kehikoita parhaan mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi.

3.1 Ensimmäinen koepoltto

Ensimmäistä koepolttoa varten mallinsin Rhinolla ja tulostin Form 2-tulostimella useita kappaleita ohkasia sormuksia (kuva 6). Mallinsin valukanavat valmiiksi kappaleisiin, jotta niiden kiinnittäminen valupuuhun olisi helpompaa (Formlabs A, 7). Valmistin kaksi valupuuta, joihin kumpaankin kiinnitin kaksi sormusta. Toisen puun valoin koulun Satincast kipsiin ja toisen Plasticastiin. Kipsit olivat halkaisijaltaan 7 cm ja korkeudeltaan 10cm. Molemmat kipsit poltettiin koulun vanhalla 17 tunnin poltto-ohjelmalla. Kipsejä uuniin laittaessa huomasin, että avonaiset kehikot aiheuttavat kipsiin halkeaman.

Polton jälkeen avasin kipsit vannesahalla koulun puutyötiloissa ja kävi ilmi, että kipsiin ei jäänyt tulosteesta tarkasteltavaa jälkeä, koska tulostetut sormukset olivat liian hentoja eikä niistä siksi jäänyt merkittäviä onkaloita kipsiin. Lisäksi ymmärsin kipsin halkaisun vannesahalla olevan huono idea, sillä halkisahauksen aikana irtoava kipsijauho tunkeutuu kipsiin jääviin onkaloihin ja niiden poistaminen paineilmalla tai harjalla poistaa myös palamisjäänteet, eikä tarkasteltavaa juurikaan jää jäljelle.



tukirakenteissaan. (Tanskanen 2018)

3.2 Toinen koepoltto

Toiseen polttoon mallinsin ja tulostin esimerkkikappaleiksi kahdenlaisia noppia (kuva 7), jotka ovat riittävän kookkaita ja muodoiltaan yksinkertaisia tulosten tarkastelemiseksi.

Käytin noppia myös siksi, että ajattelin niille voivan olla käyttöä opinnäytetyön ulkopuolella. Tein saman setin kipsejä samoihin muotteihin kuin ensimmäisessä poltossa. Poltto-ohjelmanä käytin vielä koulun ohjelmaa.

Polton tuloksia tarkastellakseni halkaisin kipsit käsin hyödyntäen halkeamia, jotka olivat levinneet kehikon aiheuttamasta halkeamasta polton aikana. Havaitsin Plasticast- kipsistä, ettei seinissä ollut aluksi epäiltyjä palamisjäänteitä, jotka olisivat aiheuttaneet epäonnistuneen valautumisen. Se sijaan seinämissä esiintyi rapautumista (kuvat 8 ja 9), joiden takia syksyllä 2017 valetuissa esimerkkikappaleissa oli ilmennyt ylimääräisiä muotoja kappaleiden pinnalla. Poltto-ohjelman pituus on mielestäni ollut liian pitkä castable-hartsille ja pitkäkestoinen kuumuus on aiheuttanut hapertumista onkaloihin.



Kuva 9 Tulostenopat, jotka ovat vahapuussaan improvisoidussa muotissa. (Tanskanen 2018)



Kuva 8 Kymmensivuisen nopan onkalo, jonka seinissä näkyy tasaista rapautumista. Kuvan isompi halkeama on kipsin aukaisun jäljiltä. (Tanskanen 2018)



Kuva 7 Nopan onkalo. Silmien välistä on rapistunut pala pois. (Tanskanen 2018)

3.3 Kolmas koepoltto

Tässä vaiheessa siirryin käyttämään Formlabsin suosittelemaa (Formlabs A 2018-4-30) 13-tuntista poltto-ohjelmaa ja siirryin pallon muotoon tulosten tarkastelun helpottamiseksi. Noudatin Formlabsin ohjeita ja mallinsin pallot ontoiksi jättäen muotoon reiän tulostuksessa mahdollisesti aiheutuvan imun välttämiseksi. (Formlabs D 2018-4-18) Ennen kipsiä täytin

tulosteiden reiät juustonkuorivahalla, koska halusin kipsiin jäävän umpinaisen kappaleen onkalon.

Sekä Plasticastin, että Satincastin ulkopinnassa esiintyy pieniä palamispisteitä tulosteisiin kiinnittyneiden roskahiukkasten jäljiltä (kuvat 10 & 11). Ne eivät kuitenkaan vaikuttaneet itse pintoihin, jotka olivat juuri niin sileitä, kuin valettavalta kipsiltä tulisi odottaa. Uskoin löytäneeni sopivan ohjelman valamiseen ja saatoinkin aloittaa koevalut.



Kuva 10 Plasticast- kipsin onkalo
(Tanskanen 2018)



Kuva 11 Satincast-kipsin onkalo
(Tanskanen 2018)

3.4 Ensimmäinen koevalu

Valmistin koevalun 7 cm x 10 cm muottiin Plasticast-kipsillä. Koska Formlabsin ohjelman valamislämpötila on vain 482 celciusastetta, säädin jäähtymisnopeutta niin, että kahdessa ja puolessa tunnissa uunin lämpö laskee huippulämmöstä 650 asteeseen. Näin pyrin varmistamaan hopean valautumisen muottiin pitäen polton pituuden samana kuin suosituksessa. Käytettävissäni oleva valukone ei ole imukyvyltään niin voimakas, että se pystyisi juoksuttamaan sulan hopean kaikkiin muotin onkaloihin niin matalassa lämpötilassa kuin mitä Formlabsin ohjelmassa on.

Tarkasteltaessa tuloksia havaitsin ensimmäisen koevalun (kuva 14) kappaleiden valautuneen ontoiksi tulosteiden tulppausten pettämisen takia



Kuva 12 Valetut kappaleet vielä kiinni valupuussa.
(Tanskanen 2018)

jättäen valusaumoja ja reikiä palloihin. Tapahtunut ei kuitenkaan vaikuta tutkimustuloksiin, sillä tarkastelun kohteena oli kappaleiden ulkopintojen valujäljet. Ulkopinnoista erottui siisti tulostuksessa muodostunut kerroksellinen tekstuuri. Muokattu Formlabsin poltto-ohjelma osoittautui siis toimivaksi käyttämälläni polttouunille. Päätin toistaa prosessin vielä sekä Plasticastiin että Satincastiin enintään kahdesti, jotta voin todeta, että kyseinen ohjelma todellakin toimii Plasticastilla. Saisin myös selville, voisiko Satincastia käyttää Plasticastin sijaan. Koulun olisi helpompi jatkaa Satincastin tilaamista, mikäli se osoittautuu toimivaksi, sillä Saurumin tuotantopäällikkö Jari Mikkosen (2018-4-4) mukaan Ransom & Randolph ei maahantuo Plasticast-kipsiä Suomeen lainkaan.

3.5 Toinen koevalu

Toiseen koevaluun otin mukaan Satincast- kipsiin tehdyn muotin saadakseni selville, saako Satincast- kipsiin valetusta hartsitulosteista yhtä laadukasta valujälkeä kuin Plasticastiin valetuista. Molempiin puihin kiinnitin kaksi tulostepalloa ja toistin polton muokatulla formlabsin ohjelmalla.



Kuva 13 Vasemmalta oikealle: Kaksi Plasticastiin valettua palloa ja Satincastiin valettu pallo. (Tanskanen 2018)

Kummankin kipsin valut tuottivat enimmäkseen toivotun tuloksen: Valettujen kappaleiden pinnat näyttivät päällisin puolin siisteiltä, niin että pikaisella vilkaisulla kappaleita tuskin erottaisi toisistaan. Havaitsin kuitenkin Satincastin valussa pieniä virheitä tutkiessani kappaletta tarkemmin (Kuva 13). En voinut olla varma, olivatko virheet valun jälkiä vai oliko tulosteisiin tarttunut roskaa jossain prosessin vaiheessa. Siksi päätin suorittaa vielä kolmannen koevalun molemmille kipseille saadakseni tarkemman otannan.

3.6 Kolmas koevalu

Kolmanteen koevaluun käytin samaa kokoonpanoa kuin toiseen valuun voidakseni toistaa edellisen valun tuloksen.

Sekä Plasticastiin että Satincastiin valettujen pallojen pinnat osoittautuivat moitteettomiksi, lukuun ottamatta rosoista onkaloa kolmessa neljästä pallosta (kuvat 14 ja 15, s.19). Keskusteltaessa asiasta lehtori Jarno Räsänen (2018-4-12) arvioi kuroutumisen olevan syynä pallojen koloihin. Pallojen valukanavat olivat hieman liian kapeita pallojen massaan nähden, jolloin kanavat ehtivät jäähtyä umpeen hieman ennen kuin kappaleet olivat täysin valautuneet.

Palloissa valurungon puolella oleva hopea jähmettyi viimeisenä jättäen revenneen näköisen onkalon palloon. Tapahtunut ei

kuitenkaan johtunut kipsistä, hartsista eikä poltto-ohjelmasta, vaan valun toteutuksen suunnitteluvirheestä eikä siksi vaikuttanut valun lopputulokseen. Vertailtaessa molempiin kipsiin valettujen pallojen välillä merkittäviä eroja ei löytynyt. Kuvassa 15 näkyvät pienet nystyt valukanavan ympärillä ovat tukirakenteiden kantoja, joita en katsonut tarpeelliseksi siistiä pois kappaleista ennen valua.



Kuva 14 Satincast -kipsiin valetut pallot valupuineen. Kuvassa näkyy kuroutuma vasemmassa pallossa.



Kuva 15 Plasticast -kipsiin valetut pallot. Valun pinnasta erottuu tulostuksen viivat. Edessä ovat rosoreunaiset kuroutumat.

Todetun perusteella Satincast olisi yhtä hyvä kipsi Form 2-Castable- hartsille, kuin Plasticastkin. Koulun ei tarvitsisi etsiä keinoa Plasticastin maahantuomiseksi Suomeen ja se voisi jatkaa Satincastin käyttöä.

Tulosten pohjalta laadin ohjeet Plasticast-kipsin valmistamiseen käsin (Liite 1) ja Polttouunin ohjelmoimiseksi. (Liite 2) Näistä tein myös tulosteet koulun korupajalle, jotta muut opiskelijat voisivat hyödyntää niitä käyttäessään Form 2- 3D-tulostinta valuprojekteihinsa.

4 POHDINTA

Opinnäytetyön tekeminen oli kaiken kaikkiaan mielenkiintoinen prosessi. Pääsin kehittämään sekä koulun toimintaa, että omia taitojani tulostamisessa, erityisesti seterolitograafisessa tulostamisessa ja valun suorittamisessa.

Ensisijaiset tavoitteet onnistuin saavuttamaan aikarajan puitteissa. Korumuotoilun opiskelijat ovat saaneet opinnäytetyöni ansiosta sopivat ohjeet Form 2 Castable-hartsitulosteille osoitetulle kipsin valmistamiseen ja uunin ohjelmoimiseen. Toissijainen tavoite oli edellä mainitsemani itsensä kehittäminen kyseisellä saralla. Koen tuntevani Form 2- 3D-tulostimen toimintaperiaatteet ja kykeneväni täysin itsenäiseen työskentelyyn sen parissa.

Työn konkreettinen tekeminen oli suhteellisen helppo pitää aikataulussa, mutta tuotosten raportointi ontui raskaasti. Ajankäyttöni kirjoittamisen osalta oli tehotonta. Työskentelyä haittoi myös osa-aikatyöni Saurum Oy:llä, jota tein 15-18 tuntia viikossa.

Jotta olisin suoriutunut opinnäytetyöstäni paremmin, olisi minun pitää tiukempaa ja paremmin jäsenneltyä aikataulua. Vastaisuudessa aikataulutukseeni tulisi laittaa välitavoitteita, jotka on helpompi saavuttaa ja joista saatu onnistumisen tunne motivoisi jatkamaan yhtä tehokkaasti tai jopa ahkerammin eteenpäin.

Valmistumisen jälkeen jatkan työskentelyäni Saurum Oy:llä täysipäiväisenä työntekijänä enimmäkseen alkutöiden puolella. Työpaikallani voi tulla tilanteita, joissa joudun siirtymään väliaikaisesti muihin työtehtäviin, esimerkiksi valuosastolle ja niissä opinnäytetyön aikana saamani harjaantuminen voi osoittautua hyödylliseksi. Oppimaani voin mahdollisesti hyödyntää myös vapaa-ajan harrastuksissani.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- AALTO, YLI-KIVISTÖ ja IKONEN, Ohjeita valamiseen [viitattu 2018-4-15]
Saatavilla:
webd.savonia.fi/home/kanylri/Valmistettavuus/Valmistettavuus_MariTarujaHanna.pdf
- ALLIED MINERAL PRODUCTS 207-12-7, Satin Casti 20:n valmistus [Viitattu 2018-5-11]
Saatavilla: alliedmineral.com/2017/12/07/allied-acquires-jewelry-investment-refractory-rights-from-kerr-corporation/
- FORMLABS A 2018-4-16, 2018-5-11 Recommended Burnout Process and Casting guide, PDF-julkaisu
Saatavilla: formlabs.com/media/upload/Recommended-Burnout-Process.pdf
- FORMLABS B 2018-5-11 Jewelry Resins for Superb Detail
Saatavilla: formlabs.com/materials/jewelry/
- FORMLABS C 2018-5-11, Preform Software 2.15.1
Saatavilla: formlabs.com/tools/preform/
- FORMLABS D 2018-4-15, 2018-5-6, Jewelry 3D-printing Basic design parameters, supports and orientation
Sähköpostiin tilattavissa: formlabs.com/jewelry-3d-printing-basic-design-parameters-supports-orientation/
- FORMLABS E 2018-5-11, Resin Library
Saatavilla: formlabs.com/materials/
- FORMLABS F 2018-5-3, Form 2 Basic Finishing Steps
Saatavilla: support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000024524
- FORMLABS G 2018-5-3 Form Cure Time and Temperature Settings
Ladattavissa linkistä sivulla: support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115001414464
- FORMLABS H 2018-5-3, How Mechanical Properties of SLA 3D-Prints Are Affected by UV-Curing
Saatavilla: formlabs.com/media/upload/How-Mechanical-Properties-of-SLA-3D-Prints-Are-Affected-by-UV-Curing.pdf
- FORMLABS I 2018-5-3, chat- keskustelu tukihenkilön "Jay C" kanssa
Tekijän omassa arkistossa
- FORMLABS J 2018-5-6, Advanced Structure Support settings,
Saatavilla: support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000015850
- HAAPANIEMI, KETOLA ja NASKALI, 3D- tulostuksen mestarit ja kisällit [2015][Viitattu 2018-4-15]
Saatavilla: businessstamperemagazine.fi/blogi/3d-tulostuksen-mestarit-ja-kisallit

- HINDSBERG, Sanna, 2016. Kolmas Ulottuvuus: Materiaalia lisäävän valmistuksen mahdollisuudet design painotteisessa koru- ja jalometalliteollisuudessa. Savonia-ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2018-4-30]
Saattavilla: www.theseus.fi/handle/10024/111713
- KAUPPALEHTI 2018-5-11, Saurum Oy
Saattavilla: www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/saurum+oy/02986723
- MIKKONEN, Jari 2018-4-4 tuotantopäällikkö [keskustelu] Saurum oy
- NYLUND, Risto 2018-3-15 lehtori [keskustelu] Savonia- ammattikorkeakoulu
- PROTOLABS 2018-4-6, Artikkelit Stereolitografia
Saattavilla: www.alphaform.fi/protolabs-integration/palvelut/3d-tulostus/stereolitografia
- RANSOM & RANDOLPH, yrityksestä [Viitattu 2018-5-11]
- RANSOM & RANDOLPH, Plasticast- kipsin teko-ohjeet [viitattu 2018-4-11]
Saattavilla: products.riogrande.com/content/Instruction-Sheets/PlastiCast-Investment-IS.pdf
- RÄSÄNEN, Jarno 2018-4-12 lehtori [keskustelu] Savonia- ammattikorkeakoulu

KUVALÄHDELUETTELO

Kuva 1. Epäonnistunut Koevalu. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 2. Visualistointi tulosteiden asennossa tulostimessa. Formlabs, Jewelry 3D printing: Basic design parameters, Supports and Orientation 2018

Tilattavissa sähköpostiin: formlabs.com/jewelry-3d-printing-basic-design-parameters-supports-orientation/

Kuva 3. Preformin käyttöliittymä, Formlabs 2018

Saatavilla: Kuva tekijän oma arkisto, Preform ohjelma ladattavissa: formlabs.com/tools/preform/

Kuva 4. PreForm työkalupalkki. Formlabs, 2018

Saatavilla: support.formlabs.com/hc/en-us/articles/115000015850

Kuva 5. Kuvakulmapainikkeet ja Slicer- työkalu. Formlabs 2018

Saatavilla: Kuva tekijän arkistossa

Kuva 6. Tulostetut sormukset tukirakenteineen. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 7. Tulostenopat vahapuussa. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 8. Nopan onkalo kipsissä. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 9. Toisen nopan onkalo kipsissä. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 10. Plasticast- kipsin onkalo. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 11. Satincast- kipsin onkalo. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 12. Valetut kappaleet valupuussa 1. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 13 Toinen koevalu. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 14. Valetut kappaleet valupuussa 2. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kuva 15. Valukappaleet kuroutumilla. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Kaavio 1. Prosessin eteneminen. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

Taulukko 1. Poltto-ohjelmien vertailu. Severi Tanskanen, 2018

Saatavilla: Tekijän arkisto

LIITTEET

4.1 LIITE 1: Plasticast- Kipsin valmistusohje:

Plasticast kipsin sekoitussuhde on 38:100, eli 38ml vettä menee 100g kipsiä. Suhde on likimain sama kuin Satincast- kipsillä.

Veden suositeltu lämpötila on 24-26°C.

ISO MUOTTI:

8dl vettä

2,1kg kipsiä

PIENI MUOTTI

4dl vettä

1,05kg kipsiä

KESKIKOKOINEN MUOTTI

6dl vettä

1,58kg kipsiä

MINI MUOTTI

2dl vettä

0,53kg vettä

1. Teippaa muotti kumipohjineen tiiviisti. Teipin reuna tulee 7cm kehikon reunan yli.
2. Lisää kipsi veteen sekoittaen samalla huolellisesti **3 minuutin** ajan. Sekoituksen loppuvaiheessa vältä kaatamasta liian suurta määrää kipsiä kerralla, ettei kipsin rakenne muutu taikinamaiseksi.
3. Ilmaa sekoitusastiassa olevaa kipsiä, kunnes kipsi kuplii kiehuvan veden tavoin, sitten ilmaa vielä **1 ½ min.**

HUOM! Plasticast- kipsin pinta nousee ilmauksen aikana runsaasti! Varaa riittävän suuri sekoitusastia, ettei kipsi pääse kuplimaan reunan yli.

4. Kaada kipsi päällystettyyn muottiin. Kipsin reunan tulee olla metallireunaa korkeammalla.
5. Ilmaa muotissa olevaa kipsiä ilmauskoneessa **1½-2 min.**
6. Koko kipsin valmistuksen on kestettävä korkeintaan **9 min.**
7. Anna kuivua vähintään **1 – 2 h** riippuen muotin koosta. Suurempi muotti vaatii enemmän aikaa kuivumiselle.
8. Irroita teipit muotista ja poista kumipohja. Siisti kipsin yläpinta muotin kehikon tasalle, niin muotti pysyy suorassa valun aikana.

4.2 LIITE 2: 13 tuntisen poltto-ohjelman ohjelmoiminen

1. Asettele muotit uuniin siten, että uunin perälle asetetaan ne muotit, joihin tarvitaan eniten metallia ja ne, joihin vähiten, asetetaan eteen.
2. Laita imuri päälle.
3. Kytke ohjauspaneeli päälle sen päädystä. [o -]
4. Paina **pers prog**- painiketta
5. Paina laitteen ohjauspaneelin kaaviossa ensimmäistä $\uparrow^{\circ}\text{C/h}$ näppäintä.
Näppäile 63°C/h . (ensimmäisen nousun nopeus)
6. Paina **t₁**.
Näppäile 30 min. (ensimmäisen lämpötasanteen kesto)
7. Paina **tmp₁**.
Näppäile 177°C . (ensimmäisen tasanteen lämpötila)
8. Paina laitteen kaaviossa toista $\uparrow^{\circ}\text{C/h}$.
Näppäile 123°C/h (toisen nousun nopeus)
9. Paina **t₂**.
Näppäile 180 min (toisen tasanteen kesto)
10. Paina **tmp₂**
Näppäile 732°C (toisen tasanteen lämpötila)
11. Paina $\downarrow^{\circ}\text{C/h}$
Näppäile 32°C/h (lasku valulämpöön)
12. Paina **t₀**
Näppäile aika (min), jonka päästä haluat uunin ohjelman alkavan.
13. Paina memo, eli **fix prog** ja **pers prog** yhtä aikaa.
Näyttöön tulee lukemaan nEno.
Näppäile 1
14. Paina **start/stop**